

# **Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)**

International application number: PCT/EP04/053438

International filing date: 14 December 2004 (14.12.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE

Number: 10 2004 004 004.4

Filing date: 27 January 2004 (27.01.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 14 February 2005 (14.02.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



EP/04/53438

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 10 2004 004 004.4

Anmeldetag: 27. Januar 2004

Anmelder/Inhaber: ROBERT BOSCH GMBH, 70469 Stuttgart/DE

Bezeichnung: Ansteuerung für ein Heterodyn-Interferometer

IPC: G 01 B, G 01 J, G 02 F

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 20. Januar 2005  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Hoß

R. 307445

19. Januar 2004

10 ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

### Ansteuerung für ein Heterodyn-Interferometer

#### 15 Stand der Technik

Die Erfindung betrifft Verfahren zum Ansteuern eines Heterodyn-Interferometers mit zwei in getrennten Lichtwegen angeordneten akustooptischen Modulatoren, einem Empfänger, welcher ein Analogsignal erzeugt, und einem nachgeschalteten A/D-Wandler, der das Analogsignal in ein Digitalsignal wandelt, bei dem der eine akustooptische Modulator mit einer Modulationsfrequenz  $f_1$  und der andere akustooptische Modulator mit einer anderen Modulationsfrequenz  $f_2$  angesteuert werden, die Differenz der Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  eine Heterodynfrequence  $f_{\text{Het}}$  bildet und die Umwandlung des Analogsignals in das Digitalsignal im A/D-Wandler mit der Abtastfrequenz  $f_a$  erfolgt.

Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung aus einer Ansteuereinrichtung und einem Heterodyn-Interferometer mit zwei in getrennten Lichtwegen angeordneten akustooptischen Modulatoren, einem Empfänger, welcher ein Analogsignal liefert, und einem nachgeschalteten A/D-Wandler zur Bildung eines Digitalsignals aus dem Analogsignal, wobei der eine akustooptische Modulator mit einer Modulations-

frequenz  $f_1$  und der andere akustooptische Modulator mit einer anderen Modulationsfrequenz  $f_2$  angesteuert ist, und die Differenz der Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  einer Heterodynfrequence  $f_{\text{Het}}$  entspricht und für die Umwandlung des Analogsignals in das Digitalsignal eine Abtastfrequenz  $f_a$  vorgesehen ist.

5

Heterodyn-Interferometer werden benutzt, um die durch einen optischen Phasenschieber verursachte Phasenverschiebung eines Lichtstrahls zu messen. Als optischer Phasenschieber kann beispielsweise die Länge einer optischen Umleitung fungieren, deren Länge zu messen ist. Heterodyn-Interferometer sind aus der Fachliteratur bereits hinreichend bekannt.

Bei einem Heterodyn-Interferometer wird der Strahl einer Lichtquelle, üblicherweise ein Laser, durch einen Strahlteiler auf zwei akustooptische Modulatoren geleitet. Die beiden akustooptische Modulatoren werden mit den Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$ , die typischerweise im MHz-Bereich liegen, angesteuert. Dabei werden die Lichtstrahlen am Ausgang der akustooptische Modulatoren um die entsprechende Frequenz gegenüber der Orginal-Lichtfrequenz verschoben.

Die beiden frequenzverschobenen Lichtstrahlen werden dann über Spiegel wieder einem Strahlteiler zugeführt und vereinigt, wobei einer der beiden Strahlen über einen optischen Phasenschieber verzögert wird. Dies kann durch Materialien geschehen, die die Phase des Lichts verschieben oder in denen die Lichtgeschwindigkeit des Lichts gegenüber Luft verringert ist. Eine weitere Ausführungsform kann vorsehen, dass durch weitere Spiegel das Licht umgelenkt wird und somit das Licht einen optischen Umweg laufen muss. Nachdem beide Lichtstrahlen durch den Strahlteiler, beispielsweise in Form eines halbdurchlässigen Spiegels, wieder vereinigt sind, wird das Licht einem Empfänger zugeführt, der einen Photodetektor und in der Regel einen Verstärker enthält.

Beide Lichtstrahlen interferieren und erzeugen im Empfänger eine Schwebungsfrequenz, die als Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$  bezeichnet wird. Diese Frequenz berechnet sich nach

5  $f_{\text{Het}} = | f_1 - f_2 |$

Die Phase dieses Signals, bezogen auf die Phasenlage eines durch Mischung von  $f_1$  mit  $f_2$  gewonnenen elektrischen Signals der Frequenz  $f_{\text{Het}}$ , entspricht der Phasenverschiebung des optischen Phasenschiebers, die gemessen werden soll.

10 Das Analogsignal, welches am Ausgang des Empfängers zur Verfügung steht, wird einem nachfolgend angeordneten A/D-Wandler zugeführt, der ein Digitalsignal generiert. Die Umwandlung geschieht dabei mit einer Abtastrate der Frequenz  $f_a$ . Das Digitalsignal wird dann einer Auswerteeinheit zur Weiterverarbeitung zugeführt.

15 Bei den oben beschriebenen Heterodyn-Interferometern kann die Erzeugung der Frequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und  $f_a$  im Betrieb zu starken Schwankungen der Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}} = | f_1 - f_2 |$  führen, da die Oszillatoren zum einen mit der Temperatur und zum anderen über die Alterung einen Frequenzdrift aufweisen können. Weiterhin ist  
20 nachteilig, dass das die Austastfrequenz  $f_a$  zur Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$  nicht in einem ganzzahligen Verhältnis steht und zudem nicht konstant ist.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Ansteuerung eines Heterodyn-  
25 Interferometer bereitzustellen, das diese Nachteile nicht aufweist. Es ist weiterhin Aufgabe der Erfindung eine entsprechende Vorrichtung aus einer Ansteuereinrichtung eines Heterodyn-Interferometer bereitzustellen.

### Vorteile der Erfindung

- Die das Verfahren betreffende Aufgabe der Erfindung wird dadurch gelöst, dass
- 5 zumindest zwei der Frequenzen aus den Modulationsfrequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und der Abtastfrequenz  $f_a$  aus einer Grundfrequenz  $f_{Quarz}$  eines gemeinsamen Oszillators gebildet werden. Hierdurch kann erreicht werden, dass ein festes Verhältnis der Modulationsfrequenzen eingehalten wird und diese sich nicht durch Alterung und Drift gegeneinander verschieben. Weiterhin kann hierdurch erreicht werden, dass die
- 10 Abtastfrequenz  $f_a$  in einem festen Phasenverhältnis zur Differenzfrequenz der Modulationsfrequenzen  $f_1, f_2$ , der Heterodynfrequenz  $f_{Het}$ , steht. Die Messgenauigkeit wird erhöht, da die Abtastung unabhängig von Drift und Alterung bei konstanter Phase erfolgt.
- 15 Werden die Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  aus der Grundfrequenz  $f_{Quarz}$  nach dem Verfahren der direkten digitalen Synthese (DDS) generiert, indem ein digitaler Akkumulator der Wortbreite N pro Taktimpuls des als Quarzoszillator mit der Grundfrequenz  $f_{Quarz}$  ausgebildeten Oszillators um eine ganze Zahl Z inkrementiert wird, kann die Bereitstellung der Signale kostengünstig rein digital erfolgen. Zudem
- 20 können die Modulationsfrequenzen hiermit frei programmiert werden.
- Werden die Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  getrennt in separaten DDS-Einheiten aus der Grundfrequenz  $f_{Quarz}$  generiert, können kommerziell erhältliche kosten-günstige integrierte Schaltungen verwendet werden.
- 25 Eine besonders einfach zu realisierende Ausführungsform mit linearem Phasen-verlauf sieht vor, dass durch das Inkrementieren des digitalen Akkumulators ein sägezahnförmiger Werteverlauf seines Inhaltes gebildet wird.
- 30 Eine für die Modulation der akustooptischen Modulatoren besonders geeignete reine sinusförmige Ansteuerung wird dadurch erreicht, dass der Werteverlauf im digitalen

Akkumulator als Phasenwert einer Kosinus-Schwingung interpretiert wird, dass über eine in einem ROM abgelegte Tabelle und/oder algorithmische Verfahren aus dem Phasenwert ein Abtastwert einer Kosinus-Schwingung ermittelt wird und diese in einem analogen Tiefpassfilter geglättet wird.

5

Ein vereinfachter Schaltungsaufbau sieht vor, dass die Abtastfrequenz  $f_a$  für den A/D-Wandler durch eine Teiler-Einheit aus der Modulationsfrequenz  $f_1$  gebildet wird, oder dass die Abtastfrequenz  $f_a$  für den A/D-Wandler durch eine Teiler-Einheit aus der Modulationsfrequenz  $f_2$  gebildet wird, wodurch ein weiterer Oszillator eingespart

10 werden kann.

Beträgt die Abtastfrequenz  $f_a$  ein ganzzahliges Vielfaches der Heterodynfrequence  $f_{\text{Het}}$ , wird eine Verbesserung der Messgenauigkeit erreicht.

15 Bildet das Verhältnis zwischen der Abtastfrequenz  $f_a$  und der Heterodynfrequence  $f_{\text{Het}}$  mindestens den Faktor 2, wird eine gute Messgenauigkeit bei geringem Schaltungsaufwand erzielt.

Die die Vorrichtung betreffende Aufgabe der Erfindung wird dadurch gelöst, dass die 20 Ansteuereinrichtung für die Erzeugung zumindest zweier der Frequenzen aus den Modulationsfrequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und der Abtastfrequenz  $f_a$  einen gemeinsamen Oszillator mit der Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  aufweist. Hierdurch wird mit geringem Schaltungsaufwand eine von Drift und Bauteilalterung unabhängige Messgenauigkeit erreicht.

25

Eine bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass für die Erzeugung der Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  aus der Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  ein direkter digitaler Synthesizer (DDS) vorgesehen ist, der einen digitalen Akkumulator der Wortbreite N aufweist, welcher pro Takteinheit des als Quarzoszillator ausgebildeten Oszillators (100) mit 30 einer Taktfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  mittels einer Inkrementierstufe um eine ganze Zahl Z

inkrementierbar ist. Hierdurch können die Signale kostengünstig auf digitalem Weg erzeugt und frei programmiert werden.

- Werden für die Erzeugung der Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  getrennte DDS-  
5 Einheiten vorgesehen, können kostengünstige kommerziell erhältliche Bauteile eingesetzt werden.

Eine vereinfachte Schaltungsausführung sieht vor, dass eine Teiler-Einheit zur Erzeugung der Abtastfrequenz  $f_a$  aus der Modulationsfrequenz  $f_1$  vorhanden ist oder  
10 dass eine Teiler-Einheit zur Erzeugung der Abtastfrequenz  $f_a$  aus der Modulations-  
frequenz  $f_2$  vorhanden ist.

Eine bevorzugte Ausführung sieht vor, dass das Teilungsverhältnis der Teiler-Einheit ganzzahlig ist. Hierdurch wird eine besonders gute Messgenauigkeit erzielt.

- 15 Eine einfache Ausführung mit guter Messgenauigkeit sieht vor, dass das Teilungsverhältnis der Teiler-Einheit mindestens 2 beträgt.

#### Zeichnungen

- 20 Die Erfindung wird im folgenden anhand eines in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:  
Figur 1 schematisch ein Heterodyn-Interferometer gemäß dem Stand der Technik;  
Figur 2 schematisch eine Oszillatoren-Anordnung für ein Heterodyn-Interferometer;  
25 Figur 3 schematisch eine andere Ausführungsform für eine Oszillatoren-Anordnung.

#### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

- Fig. 1 zeigt schematisch ein Heterodyn-Interferometer 1, wie es aus dem Stand der  
30 Technik bekannt ist.

Der Strahl einer Lichtquelle 10 wird durch einen Strahlteiler 50 auf zwei akustooptische Modulatoren 20, 30, in der Figur mit AOM1 und AOM2 bezeichnet, geleitet. Die beiden akustooptischen Modulatoren 20, 30 werden mit den Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$ , die typischerweise im MHz-Bereich liegen, angesteuert. Dabei werden die Lichtstrahlen am Ausgang der akustooptischen Modulatoren 20, 30 um die entsprechende Frequenz gegenüber der Orginal-Lichtfrequenz verschoben. Als Lichtquelle 10 wird vorzugsweise ein Laser mit langer Kohärenzlänge verwendet. Die beiden frequenzverschobenen Lichtstrahlen werden dann über Spiegel 60 wieder einem Strahlteiler 50 zugeführt und vereinigt, wobei einer der beiden Strahlen über einen optischen Phasenschieber 40 verzögert wird. Dies kann durch Materialien geschehen, die die Phasenverschiebung des Lichts verschieben oder in denen die Lichtgeschwindigkeit des Lichts gegenüber Luft verringert ist. Eine weitere Ausführungsform kann vorsehen, dass durch weitere Spiegel das Licht umgelenkt wird und somit das Licht einen optischen Umweg laufen muss. Nachdem beide Lichtstrahlen durch den Strahlteiler 50, beispielsweise in Form eines halbdurchlässigen Spiegels, wieder vereinigt sind, wird das Licht einem Empfänger 70 zugeführt. Der Empfänger 70 ist durch einen Photodetektor ausgebildet, dem ein Verstärker nachgeschaltet ist, der ein Analogsignal 71 liefert. Der Verstärker kann im Empfänger 70 integriert sein.

Beide Lichtstrahlen interferieren und erzeugen im Empfänger 70 eine Schwebungsfrequenz, die als Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$  bezeichnet wird. Diese Frequenz berechnet sich nach

$$f_{\text{Het}} = | f_1 - f_2 |$$

Die Phase dieses Signals, bezogen auf die Phasenlage eines durch Mischung von  $f_1$  mit  $f_2$  gewonnenen elektrischen Signals der Frequenz  $f_{\text{Het}}$ , entspricht der Phasenverschiebung des optischen Phasenschiebers 40, die gemessen werden soll.

Das Analogsignal 71, welches am Ausgang des Empfängers 70 zur Verfügung steht, wird einem nachfolgend angeordneten A/D-Wandler 80 zugeführt, der ein Digital-

signal 81 generiert. Die Umwandlung geschieht dabei mit einer Abtastrate der Frequenz  $f_a$ . Das Digitalsignal 81 wird dann einer Auswerteeinheit 90 zur Weiterverarbeitung zugeführt.

- 5 Dem Stand der Technik entsprechend, werden die Frequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und  $f_a$  aus getrennten Quarzoszillatoren gewonnen, was die oben genannten Nachteile hinsichtlich der Stabilität der Frequenzverhältnisse zueinander aufweist.

Fig. 2 zeigt eine Oszillator-Anordnung für einen Heterodyn-Interferometer gemäß der  
10 Erfindung.

Zur Erzeugung der AOM-Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$  wird das als direkte digitale Synthese bekannte DDS-Verfahren eingesetzt. Bei diesem Verfahren wird ein digitaler Akkumulator der Wortbreite N pro Taktimpuls eines als Quarzoszillator ausgebildeten  
15 Oszillators 100 mit der Taktfrequenz  $f_{Quarz}$  um eine ganze Zahl Z inkrementiert. Dabei läuft der Akkumulator durch das ständige Inkrementieren periodisch über. Der Werteverlauf im Akkumulator über die Zeit entspricht dabei einer Sägezahnfunktion mit dem Wertebereich 0 bis  $2^N - 1$  (N kann beispielsweise 32 sein). Die Werte im Akkumulator werden als Phasenwert

20

$$F = (2 * \pi * Z) / 2^N$$

einer Kosinus-Schwingung interpretiert. Über eine ROM-Tabelle und/oder über  
algorithmisches Verfahren wird aus diesem Phasenwert ein Abtastwert  $\cos(F)$  der  
25 Kosinus-Schwingung geformt. Dieser Abtastwert wird über einen D/A-Wandler ausgegeben und analog tiefpassgefiltert, wodurch sich ein zeitkontinuierliches kosinusförmiges Analogsignal der Frequenz

$$f = f_{Quarz} * Z / 2^N$$

30 ergibt.

An sich sind direkte digitale Synthesizer als integrierte Schaltung bekannt und bilden eine DDS-Einheit. Mit dieser integrierten Schaltung lassen sich mit einer Grundfrequenz per Programmierung kostengünstig hochgenaue Frequenz-  
5 generatoren realisieren, die sich im Bereich von 0 bis ca. 1/3 der Grundfrequenz mit hoher Auflösung durchstimmen lassen.

Erfindungsgemäß werden die zwei AOM-Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$  mittels zwei getrennten DDS-Einheiten 110, 120 erzeugt, wobei ein Inkrementwert  $Z_1$  für die 110 DDS-Einheit 110 und ein Inkrementwert  $Z_2$  für die DDS-Einheiten 120 vorgegeben wird. Kennzeichnend ist weiterhin, dass die Grundfrequenz für beide DDS-Einheiten 110, 120 mittels eines gemeinsamen Oszillators 100 gebildet wird.

Für die AOM-Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$ , die Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$  und die 15 Inkrementwerte  $Z_1$  und  $Z_2$  ergeben sich folgende Gleichungen:

$$f_1 = f_{\text{Quarz}} * Z_1 / 2^N$$

$$f_2 = f_{\text{Quarz}} * Z_2 / 2^N$$

20

$$f_{\text{Het}} = | f_1 - f_2 | = f_{\text{Quarz}} * ( | Z_1 - Z_2 | ) / 2^N$$

Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird die Abtastrate  $f_a$  des A/D-Wandlers 80 durch direkte Teilung der Frequenz  $f_1$  durch einen ganzzahligen Faktor  $N_1$  gewonnen. Dies 25 wird in einer beispielsweise integrierten Teilereinheit 130 realisiert.

Hinsichtlich der Genauigkeit der Abtastung beim A/D-Wandler 80 kann es vorteilhaft sein, wenn die Abtastrate  $f_a$  genau das  $k$ -fache der Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$  beträgt, wobei  $k$  eine ganze Zahl ist.

Damit ergibt sich folgende Gleichung:

$$f_a = k * f_{het} = f_1 / N_1$$

5 Für den Teilstufenfaktor  $N_1$  ergibt sich demnach folgende Beziehung:

$$N_1 = \text{runden} \{f_1 / (k * f_{het})\}$$

Da  $Z_1$  ein ganzzahliges Vielfaches von  $N_1 * k$  sein muss, ergibt sich für  $Z_1$  folgende Beziehung:

$$Z_1 = k * N_1 * \text{runden} \{(2^N * f_1) / (k * N_1 * f_{Quarz})\}$$

Für  $Z_2$  gilt dann:

15

$$Z_2 = Z_1 * \{1 + 1 / (k * N_1)\}$$

In einem Ausführungsbeispiel werden folgende Werte gewählt:

20

$$f_{Quarz} = 120 \text{ MHz},$$

$f_1 = \text{ca. } 34,9 \text{ MHz}$  und  $f_2 = \text{ca. } 35,1 \text{ MHz}$  und damit  $f_{het} = \text{ca. } 0,2 \text{ MHz}$ ,

$$k = 4$$

Diese werden erreicht mit  $N = 32$  und  $N_1 = 44$  durch Wahl von

25

$$Z_1 = 1249119696 \text{ und } Z_2 = 1256216967$$

Es ergibt sich somit für:

30

$$f_1 = 34,9000011 \text{ MHz}$$
 und  $f_2 = 35,0982966 \text{ MHz}$ ,

$$f_{het} = 0,1982955 \text{ MHz}$$
 und  $f_a = 0,7931818 \text{ MHz}$

In Fig. 3 ist eine weitere Ausführungsform einer Oszillator-Anordnung für einen Heterodyn-Interferometer aufgezeigt. Im Unterschied zu der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsform wird die Abtastfrequenz  $f_a$  mittels einer Teiler-Einheit 140 aus der Frequenz  $f_2$  generiert. Es ergeben sich analog zum oben beschriebenen Ausführungsbeispiel folgende Gleichungen:

$$f_a = k * f_{\text{Het}} = f_2 / N_2$$

$$N_2 = \text{runden} \{f_2 / (k * f_{\text{Het}})\}$$

$$Z_2 = k * N_2 * \text{runden} \{(2^N * f_2) / (k * N_2 * f_{\text{Quarz}})\}$$

$$Z_1 = Z_2 * \{1 - 1 / (k * N_2)\}$$

In diesem Ausführungsbeispiel werden folgende Werte gewählt:

$$f_{\text{Quarz}} = 120 \text{ MHz},$$

$$f_1 = \text{ca. } 34,9 \text{ MHz und } f_2 = \text{ca. } 35,1 \text{ MHz und damit } f_{\text{Het}} = \text{ca. } 0,2 \text{ MHz},$$

$$k = 4$$

Diese werden erreicht mit  $N = 32$  und  $N_2 = 44$  durch Wahl von

$$Z_1 = 1249140025 \text{ und } Z_2 = 1256277968$$

Es ergibt sich somit:

$$f_1 = 34,9005691 \text{ MHz und } f_2 = 35,1000009 \text{ MHz},$$

$$f_{\text{Het}} = 0,1994318 \text{ MHz und } f_a = 0,7977273 \text{ MHz}$$

Insgesamt lassen sich mit den oben beschriebenen DDS-Einheiten kostengünstig entsprechende Frequenzen für Heterodyn-Interferometer realisieren, da hoch präzise Frequenzen generiert werden können, die eine besondere Frequenzstabilität ergeben, wie sie für bestimmte Messaufgaben von Vorteil sind.

5 19. Januar 2004

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10  
Ansprüche

- 15 1. Verfahren zum Ansteuern eines Heterodyn-Interferometers (1) mit zwei in getrennten Lichtwegen angeordneten akustooptischen Modulatoren (20, 30), einem Empfänger (70), welcher ein Analogsignal (71) erzeugt, und einem nachgeschalteten A/D-Wandler (80), der das Analogsignal (71) in ein  
20 Digitalsignal (81) wandelt, bei dem der eine akustooptische Modulator (20) mit einer Modulationsfrequenz  $f_1$  und der andere akustooptische Modulator (30) mit einer anderen Modulationsfrequenz  $f_2$  angesteuert werden, die Differenz der Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  eine Heterodynfrequence  $f_{\text{Het}}$  bildet und die Umwandlung des Analogsignals (71) in das Digitalsignal (81) im A/D-Wandler (80) mit der Abtastfrequenz  $f_a$  erfolgt,  
dadurch gekennzeichnet,  
25 dass zumindest zwei der Frequenzen aus den Modulationsfrequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und der Abtastfrequenz  $f_a$  aus einer Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  eines gemeinsamen Oszillators (100) gebildet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  aus der Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  nach  
dem Verfahren der direkten digitalen Synthese (DDS) generiert werden,  
indem ein digitaler Akkumulator der Wortbreite N pro Taktimpuls des als  
Quarzoszillator mit der Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  ausgebildeten Oszillators (100)  
um eine ganze Zahl Z inkrementiert wird .
- 1  
5 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  getrennt in separaten DDS-  
Einheiten (110, 120) aus der Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  generiert werden.
- 15 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass durch das Inkrementieren des digitalen Akkumulators ein  
sägezahnförmiger Werteverlauf seines Inhaltes gebildet wird.
- 20 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Werteverlauf im digitalen Akkumulator als Phasenwert einer  
Kosinus-Schwingung interpretiert wird,  
über eine in einem ROM abgelegte Tabelle und/oder algorithmische  
Verfahren aus dem Phasenwert ein Abtastwert einer Kosinus-Schwingung  
ermittelt wird und  
diese in einem analogen Tiefpassfilter geglättet wird.
- 25

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Abtastfrequenz  $f_a$  für den A/D-Wandler (80) durch eine Teiler-  
5 Einheit (130) aus der Modulationsfrequenz  $f_1$  gebildet wird, oder  
dass die Abtastfrequenz  $f_a$  für den A/D-Wandler (80) durch eine Teiler-  
Einheit (120) aus der Modulationsfrequenz  $f_2$  gebildet wird.
- 10 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Abtastfrequenz  $f_a$  ein ganzzahliges Vielfaches der  
Heterodynfrequence  $f_{Het}$  beträgt.
- 15 8. Verfahren nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Verhältnis zwischen der Abtastfrequenz  $f_a$  und der  
Heterodynfrequence  $f_{Het}$  mindestens den Faktor 2 bildet.
- 20 9. Vorrichtung aus einer Ansteuereinrichtung und einem Heterodyn-Inter-  
ferometer (1) mit zwei in getrennten Lichtwegen angeordneten akusto-  
optischen Modulatoren (20, 30), einem Empfänger (70), welcher ein Analog-  
signal (71) liefert, und einem nachgeschalteten A/D-Wandler (80) zur  
Bildung eines Digitalsignals (81) aus dem Analogsignal (71), wobei der eine  
akustooptische Modulator (20) mit einer Modulationsfrequenz  $f_1$  und der  
25 andere akustooptische Modulator (30) mit einer anderen Modulations-  
frequenz  $f_2$  angesteuert ist, und die Differenz der Modulationsfrequenzen  $f_1$   
und  $f_2$  einer Heterodynfrequence  $f_{Het}$  entspricht und für die Umwandlung des  
Analogsignals (71) in das Digitalsignal (81) eine Abtastfrequenz  $f_a$   
vorgesehen ist,  
30 dadurch gekennzeichnet,

dass die Ansteuereinrichtung für die Erzeugung zumindest zweier der Frequenzen aus den Modulationsfrequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und der Abtastfrequenz  $f_a$  einen gemeinsamen Oszillatator (100) mit der Grundfrequenz  $f_{Quarz}$  aufweist.

- 5        10. Vorrichtung nach Anspruch 9,  
          dadurch gekennzeichnet,  
          dass für die Erzeugung der Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  aus der Grundfrequenz  $f_{Quarz}$  ein direkter digitaler Synthesizer (DDS) vorgesehen ist, der einen digitalen Akkumulator der Wortbreite N aufweist, welcher pro Takteinheit des als Quarzoszillator ausgebildeten Oszillators (100) mit einer Taktfrequenz  $f_{Quarz}$  mittels einer Inkrementierstufe um eine ganze Zahl Z inkrementierbar ist.
- 15        11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10,  
          dadurch gekennzeichnet,  
          dass für die Erzeugung der Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  getrennte DDS-Einheiten (110, 120) vorgesehen sind.
- 20        12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11,  
          dadurch gekennzeichnet,  
          dass eine Teiler-Einheit (130) zur Erzeugung der Abtastfrequenz  $f_a$  aus der Modulationsfrequenz  $f_1$  vorhanden ist oder  
          dass eine Teiler-Einheit (140) zur Erzeugung der Abtastfrequenz  $f_a$  aus der Modulationsfrequenz  $f_2$  vorhanden ist.
- 25        13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12,  
          dadurch gekennzeichnet,  
          dass das Teilungsverhältnis der Teiler-Einheit (130, 140) ganzzahlig ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Teilungsverhältnis der Teiler-Einheit (130, 140) mindestens 2  
5 beträgt.

19. Januar 2004

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Ansteuerung für ein Heterodyn-Interferometer

10

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ansteuern eines Heterodyn-Interferometers mit zwei in getrennten Lichtwegen angeordneten akustooptischen Modulatoren, 15 einem Empfänger, welcher ein Analogsignal erzeugt, und einem nachgeschalteten A/D-Wandler, der das Analogsignal in ein Digitalsignal wandelt, bei dem der eine akustooptische Modulator mit einer Modulationsfrequenz  $f_1$  und der andere akustooptische Modulator mit einer anderen Modulationsfrequenz  $f_2$  angesteuert werden, die Differenz der Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  eine Heterodynfrequence 20  $f_{\text{Het}}$  bildet und die Umwandlung des Analogsignals in das Digitalsignal im A/D-Wandler mit der Abtastfrequenz  $f_a$  erfolgt.

Bei einem solchen Heterodyn-Interferometer wird ein festes Verhältnis der 25 Modulationsfrequenzen eingehalten und diese können sich nicht durch Alterung und Drift gegeneinander verschieben, indem zumindest zwei der Frequenzen aus den Modulationsfrequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und der Abtastfrequenz  $f_a$  aus einer Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  eines gemeinsamen Oszillators gebildet werden.

Weiterhin kann hierdurch erreicht werden, dass die Abtastfrequenz  $f_a$  in einem festen Phasenverhältnis zur Differenzfrequenz der Modulationsfrequenzen  $f_1, f_2$ , der Heterodynfrequence  $f_{\text{Het}}$ , steht. Die Messgenauigkeit wird erhöht, da die Abtastung  
5 unabhängig von Drift und Alterung bei konstanter Phase erfolgt.

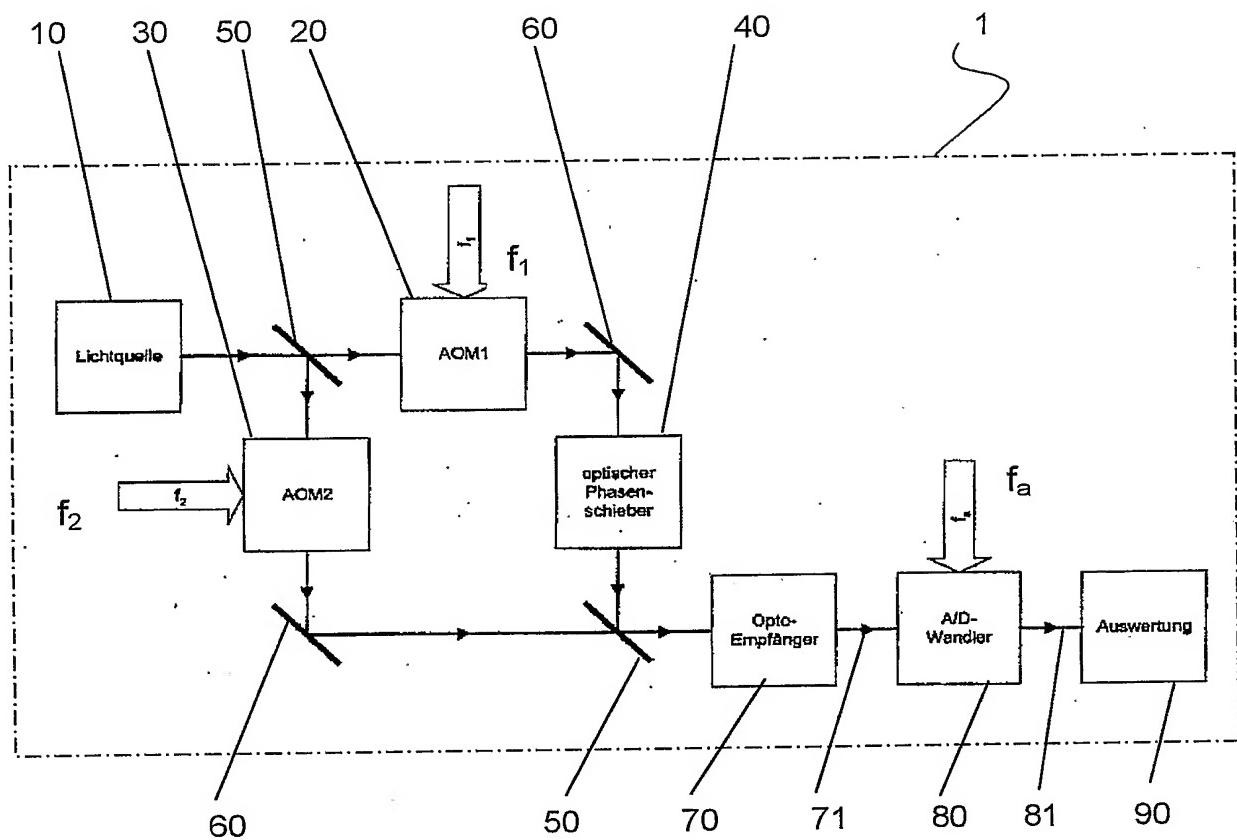


Fig. 1

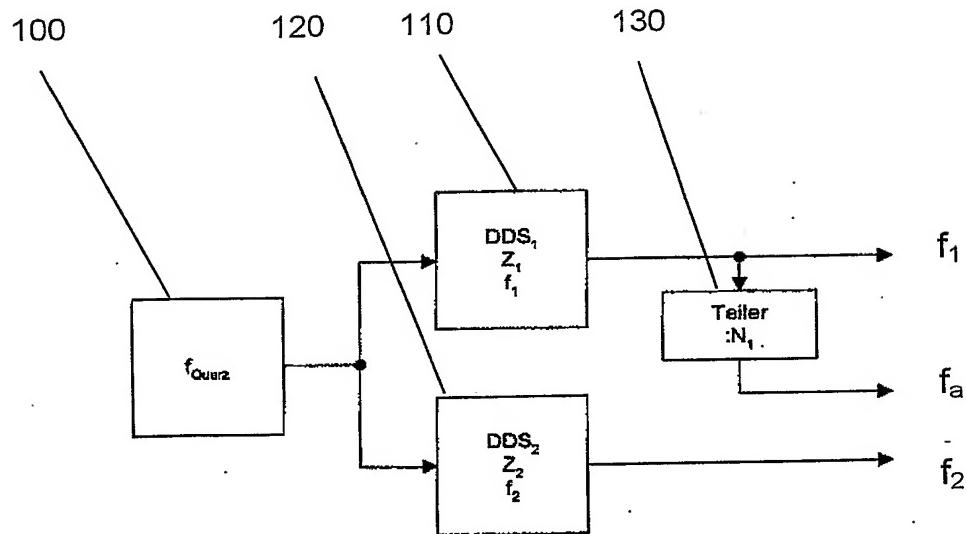


Fig. 2

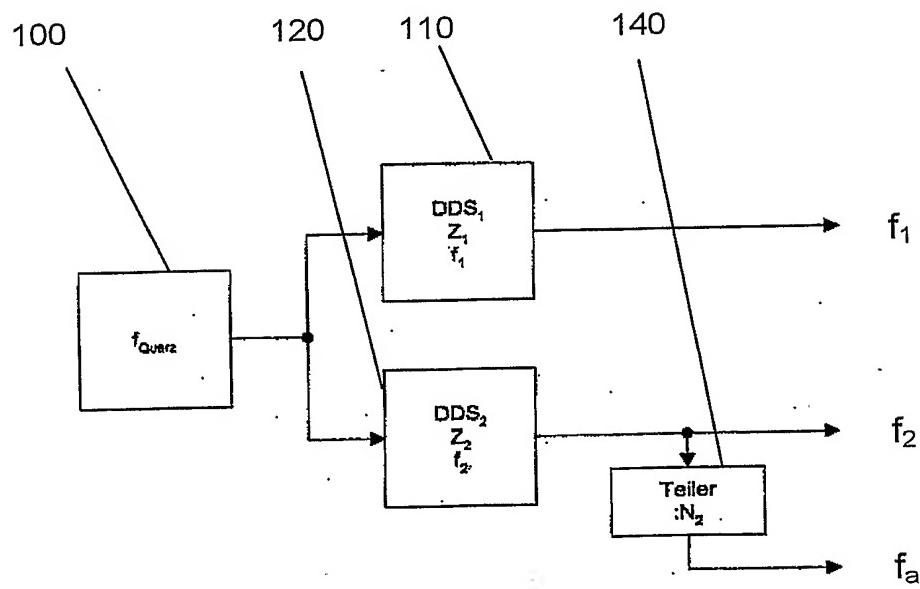


Fig. 3